

DE 101 17 305 A 1

(54) Process for reducing noise transmission in vehicles, chassis for vehicles, and actuator

(57) The invention relates to a process for reducing noise transmission in vehicles, especially rail cars, a chassis for vehicles, especially rail cars, and an actuator. The invention is suited, but not limited, to use in rail cars for passenger traffic, especially for high-speed, long-distance traffic.

The object of the invention is to propose a process for reducing noise transmission in rail cars, and a chassis for rail cars in which transmission of solid-borne noise is to be reduced.

In the process as claimed in the invention for reducing noise transmission in rail cars at least one vibration sensor detects the disturbing vibrations which are produced and/or transmitted by the wheels. A device for frequency analysis of the signals of at least one vibration sensor determines the frequencies of the strongest harmonic excitations. At least one fault sensor measures the residual vibrations or residual forces which are transmitted to the secondary plane or the car body. A control unit at the interfering frequencies which are determined by the device for frequency analysis of the vibration sensor signal generates the trigger signals for at least one actuator, especially a piezoactuator, with consideration of the signals of the at least one fault sensor. The at least one actuator, especially a piezoactuator, minimizes the residual vibrations or residual forces which ...



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 101 17 305 A 1**

51 Int. Cl. 7:
G 10 K 11/178
B 60 R 13/08

21 Aktenzeichen: 101 17 305.9
22 Anmeldetag: 2. 4. 2001
43 Offenlegungstag: 17. 10. 2002

DE 101 17 305 A 1

71 Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE; EADS
Deutschland GmbH, 85521 Ottobrunn, DE

74 Vertreter:
Willems, V., Dipl.-Geophys. Univ., Pat.-Anw., 82024
Taufkirchen

72 Erfinder:
Maier, Rudolf, Dr., 83714 Miesbach, DE; Storm,
Stefan, 85764 Oberschleißheim, DE; Pucher, Mario,
94336 Windberg, DE; Röder, Arno, 82008
Unterhaching, DE; Moeser, Clemens, 80992
München, DE; Bieker, Guido, 57399 Kirchhundem,
DE; Frank, Paul-Gerhard, Dr., 57076 Siegen, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 195 31 402 A1
DE 69 422 03 3T2
DD 2 81 860 A5

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

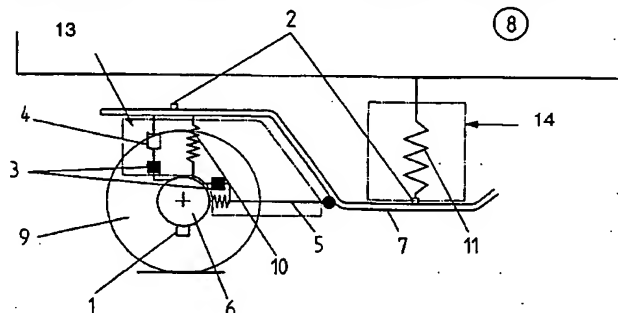
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen, Fahrwerk für Fahrzeuge und Aktuator

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen, insbesondere Schienenfahrzeugen, ein Fahrwerk für Fahrzeuge, insbesondere Schienenfahrzeuge und einen Aktuator. Die Erfindung ist geeignet für - aber nicht beschränkt auf - den Einsatz in Schienenfahrzeugen für den Personenverkehr, insbesondere für den schnellen Fernverkehr.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Schienenfahrzeugen und ein Fahrwerk für Schienenfahrzeuge vorzuschlagen, bei denen eine Übertragung von Körperschall vermindert werden soll.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Schienenfahrzeugen erfasst mindestens ein Schwingungssensor die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen. Eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors ermittelt die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen. Mindestens ein Fehlersensor misst die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene bzw. den Wagenkasten übertragen werden. Eine Regeleinheit generiert bei den durch die Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen die Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator, unter Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors. Der mindestens eine Aktuator, insbesondere Piezoaktuator, minimiert die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die ...



DE 101 17 305 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen, ein Fahrwerk für Fahrzeuge und einen Aktuator. Die Erfindung ist geeignet für – aber nicht beschränkt auf – den Einsatz in Schienenfahrzeugen, insbesondere für den Personenverkehr, vorzugsweise für den schnellen Fernverkehr.

[0002] Bei Fahrzeugen werden Vibrationen bzw. Schwingungen beispielsweise von der Fahrbahn oder der Schiene auf die Fahrzeugzelle übertragen. Derartige Vibrationen können den Fahrkomfort erheblich beeinträchtigen, beispielsweise durch spürbare Vibrationen im Innenraum des Fahrzeugs oder durch Geräusche, die durch Vibrationen verursacht werden. Insbesondere bei Hochgeschwindigkeitszügen stellt das Brummen im Wageninneren ein großes Problem dar. Eine Ursache für derartige Schwingungen bzw. Geräusche ist beispielsweise bei Schienenfahrzeugen ein betriebsbedingter Radverschleiß, der ein Unrundwerden der Räder zur Folge hat.

[0003] Bisher wurden verschiedene Versuche unternommen, derartige Schwingungen bei Fahrzeugen und insbesondere bei Schienenfahrzeugen zu reduzieren. In der DE 43 40 351 A1 ist z. B. eine viskose, unelastische Masse in Gestalt einer Schicht mit der Fahrzeugzelle verbunden, um bei auftretenden Strukturschwingungen Relativbewegungen innerhalb der Masse zu ermöglichen und dadurch die Strukturschwingungen zu dämpfen.

[0004] Die DD 281 860 A5 zeigt eine Einrichtung zur aktiven Tilgung von Schwingungen bei Schienenfahrzeugen, bei der Schwingungssensoren auftretende Schwingungen erfassen und Steuersignale erzeugen, die aktive Schwingungsdämpfer steuern um gegenphasige Schwingungen zu erzeugen.

[0005] In der DE 198 24 125 C1 ist ein Schienenfahrzeug gezeigt, bei dem parallel zu einer Primärfeder des Schienenfahrzeugs Aktuatoren vorgesehen sind, die Ausgleichskräfte erzeugen, um Schwingungsanregungen zu unterdrücken. Schwingungssensoren erfassen die Schwingungen oberhalb der Primärfeder, um Ansteuersignale für die Aktuatoren zu erzeugen.

[0006] Eine andere bekannte Möglichkeit zur aktiven Schwingungsisolierung ist in der DE 198 42 345 A1 offenbart. Dort ist ein Schwingungsabsorber mit einer Masse gezeigt, die über Feder-/Dämpferelemente im Vergleich zu den Frequenzen des zu bedämpfenden Systems niederfrequent verändert werden können. Um bei einem Schienenfahrzeug die Schwingungen des Wagenaufbaus zu bedämpfen, wird mit Hilfe eines Schwingungssensors der Schwingungsabsorber durch ein Steuersignal gesteuert. Eine passive Schwingungsabsorbermasse ist über Feder-/Dämpferelemente an den Wagenaufbau angekoppelt. Die Kennung des Schwingungsabsorbers ist abhängig vom Steuersignal veränderbar.

[0007] Bei den bekannten Vorrichtungen und Verfahren zur aktiven Schwingungsisolierung, die ähnlich wie passive Schwingungstilger Zusatzkräfte durch Bewegen einer Masse erzeugen, besteht jedoch der Nachteil, dass eine erhebliche Zusatzmasse benötigt wird und darüber hinaus ein großer Bauraum erforderlich ist. Um die Fahrdynamik aktiv beeinflussen zu können, werden die Aktuatoren im Lastpfad, das heißt im Bereich der Fahrwerksfeder, eingesetzt. Daraus ergibt sich, dass die meist hydraulischen Aktuatoren hohe Kräfte aufnehmen müssen und zudem für große Auslenkungen ausgelegt sein müssen. Eine Vibrations- und Geräuschminderung beim Fahren ist bei derartigen bekannten Systemen nur bedingt möglich.

[0008] Weiterhin bekannt zur Verringerung von störenden Schwingungen bzw. Vibrationen sind streckengebundene

Maßnahmen, die im häufigen Schleifen der Schienen oder Änderung des Oberbaus bestehen. Dies erfordert eine erhöhte Wartung. Änderungen am Oberbau der Strecke sind zudem sehr kostenintensiv.

5 [0009] Auch ein häufiges Abdrehen der Räder zur Verbesserung der Rundlaufeigenschaften und damit zur Verringerung einer der Ursachen der Vibrationen verringert deren Lebensdauer durch den zusätzlichen Materialabtrag.

[0010] Es ist weiterhin bekannt, die Strukturdämpfung am 10 Fahrzeugkasten zu erhöhen, indem zusätzliche Einbauten zur weiteren Verringerung der Luftschallabstrahlung dienen. Diese zusätzlichen Einbauten müssen jedoch, um wirksame Verbesserungen zu erzielen, über eine große Fläche verteilt werden und erhöhen unverhältnismäßig das Fahrzeuggewicht.

15 [0011] Aufgabe der Erfindung ist es, die beschriebenen Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und insbesondere ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen, insbesondere Schienenfahrzeugen und ein Fahrwerk für Fahrzeuge, insbesondere Schienenfahrzeuge vorzuschlagen, bei denen eine Übertragung von Körperschall vermindert werden soll. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung einen Aktuator vorzuschlagen, der sich durch einen geringen Bauraum und eine effektive Wirkungsweise 20 auszeichnet.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen, insbesondere Schienenfahrzeugen gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1, Fahrwerke für Fahrzeuge, insbesondere Schienenfahrzeuge gemäß den Merkmalen der Ansprüche 10 und 11 und durch einen Aktuator gemäß den Merkmalen des Anspruchs 31 gelöst.

[0013] Zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

35 [0014] Beim erfindungsgemäßen Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Schienenfahrzeugen erfasst mindestens ein Schwingungssensor die störenden, durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen. Eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors ermittelt die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen. Mindestens ein Fehlersensor misst die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene bzw. den Wagenkasten übertragen werden. Eine Regeleinheit generiert bei den durch die 40 Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen und/oder im Bereich dieser Störfrequenzen die Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator unter Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors. Der mindestens eine Aktuator, insbesondere Piezoaktuator minimiert die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene bzw. den Wagenkasten übertragen werden.

[0015] Das erfindungsgemäße Fahrwerk, beispielsweise ein Drehgestell für Schienenfahrzeuge beinhaltet eine Primärebene und eine Sekundärebene.

55 [0016] Weiterhin beinhaltet das Fahrwerk mindestens einen Schwingungssensor, der die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen erfasst, eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors die die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen ermittelt, mindestens einen Fehlersensor der die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene bzw. den Wagenkasten übertragen werden, misst, eine Regeleinheit die bei den 60 durch die Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen und/oder im Bereich dieser Störfrequenzen die Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator unter

Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors generiert und mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator der Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene bzw. den Wagenkasten übertragen werden, minimiert.

[0017] Der erfindungsgemäße Aktuator, insbesondere Piezoaktuator ist so in ein hydraulisches System eines hydraulischen Dämpfers, insbesondere Primärdämpfers eingebaut, dass eine statische Kraftentkopplung durch den Verzicht auf strukturelle mechanische Kopplung nur über die Dämpfungsflüssigkeit erreicht wird.

[0018] Das Drehgestell überträgt den Körperschall, der aufgrund der Unebenheiten von Rad- und Schienenoberfläche im Radaufstandspunkt entsteht, in den Wagenkasten des Schienenfahrzeugs, der dort in Luftschall umgewandelt wird. Die Ursache des Körperschalls ist zwar durch regelmäßiges, mechanisches Bearbeiten von Rad und Schiene zu bekämpfen, dabei handelt es sich aber um teure Wartungsarbeiten, die nach Möglichkeit zu vermeiden sind. Andererseits führen lärmminimierende Maßnahmen im Bereich des Wagenkastens zu höheren Gewichten, da sie über einen größeren Bereich verteilt werden müssen. Daraus erklärt sich das Interesse, im Bereich des Drehgestells, das noch vergleichsweise nah an der Erregerquelle ist, den Körperschall zu bekämpfen.

[0019] Aufgrund der Hauptfunktion eines Drehgestells, die sichere Führung des Fahrzeugs im Gleis zu gewährleisten, können die passiven Bauelemente nur sehr begrenzt an die akustischen Anforderungen angepasst werden. Vielmehr kommt es häufig zu einem Zielkonflikt zwischen den fahrtechnischen Eigenschaften eines Drehgestells und der Reduktion des übertragenen Körperschalls, so dass der Bedarf an zusätzlichen Parametern entsteht, mit denen das Verhalten beeinflusst werden kann, ohne die übrigen Eigenschaften zu verschlechtern. Zu diesem Zweck bieten sich aktive Elemente an, um die Übertragung des Körperschalls durch ein regelbares, frequenzabhängiges Übertragungsverhalten zu beeinflussen.

[0020] Die Ebene der Primärfederung und Radsatzführung bietet sich aus zwei Gründen an. Zum einen ist die Anzahl der Koppelstellen geringer als in der Sekundärebene wegen der diversen Dämpfer und etwa einer Wankstütze. Dies sind sämtlich Verbindungen, die aufgrund der vergleichsweise hohen Kontaktsteifigkeit sogenannte Körperschallbrücken darstellen. Zum anderen ist es bei Maßnahmen zur Schallreduktion bewährtes Prinzip, diese möglichst nah an der Erregerstelle anzuordnen.

[0021] Weiterhin von Vorteil ist, dass Anordnungen der Aktuatoren möglich sind, die keine sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Drehgestells ändern, so dass keine speziellen Maßnahmen für den Ausfall aktiver Komponenten erforderlich sind. Diese Problematik verhindert nicht selten den Einsatz aktiver Elemente.

[0022] Im Vergleich zu Aktuatoren, die auf anderen Prinzipien beruhen, ist ein piezoelektrischer Aktuator sehr viel kleiner aufgebaut, was aufgrund des in aller Regel geringen, verfügbaren Bauraums in einem Drehgestell ein wichtiges Kriterium darstellt. Auch bezüglich des Gewichts weist der Aktuator Vorteile auf, was hinsichtlich der lautechnischen Eigenschaften eines Drehgestells von Bedeutung ist. Das gilt besonders für Aktuatoren im Drehgestell, die sich aufgrund ihres Einbaues im Primärpfad weit entfernt vom Schwerpunkt des Drehgestells befinden.

[0023] Weiterhin von Vorteil ist die Möglichkeit der Detektion tonaler Anteile, deren Frequenzen sich nicht aus einer der Raddrehzahlen ableiten lassen.

[0024] Die Erfindung wird anhand des in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels nachfolgend näher

erläutert. Es zeigt schematisch und nicht maßstäblich

[0025] Fig. 1 eine teilweise Schnittansicht eines Fahrwerks eines Schienenfahrzeugs und

[0026] Fig. 2 Blockschaltbild eines Regelkreises.

5 [0027] In Fig. 1 ist ein Teil eines Fahrwerks dargestellt, welches ein Drehgestell mit einer Primärebene 13 und einer Sekundärebene 14 offenbart. In Fig. 1 werden ein Schwingungssensor 1, zwei Fehlersensoren 2 zur Messung von Schwingungen bzw. Kräften, Piezoaktuatoren 3, ein Primärdämpfer 4, Radsatzführungselemente 5, ein Achslager 6, ein Drehgestellrahmen 7, Teile des Wagenkastens 8, ein Radsatz 9 und eine Primärfeder 10 gezeigt.

15 [0028] Die Primärebene 13 umfasst die Radsatzführungselemente 5, insbesondere einen Radsatzlenker, die Piezoaktuatoren 3, den Primärdämpfer 4 und die Primärfeder 10. Von der Sekundärebene 14 ist in der Figur lediglich eine Sekundärfeder 11 dargestellt. Als Schwingungssensoren 1 bzw. Fehlersensoren 2 eignen sich alle Arten von Sensoren, die direkt oder indirekt Schwingungen bzw. Kräfte messen können, beispielsweise Kraftmesssensoren, Wegmesssensoren, Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren oder ähnliche.

20 [0029] Der Schwingungssensor 1 ist in diesem Ausführungsbeispiel am Achslager 6 angeordnet. Eine Anordnung im Bereich des Achslagers 6, und/oder im Bereich der Primärfeder 10, insbesondere unterhalb der Primärfeder 10 und/oder im Bereich zwischen einem anderen Federelement und dem Achslager 6 ist beispielsweise ebenfalls möglich.

25 [0030] Der Schwingungssensor 1 ist mit einer in der Figur nicht dargestellten Vorrichtung zur Frequenzanalyse der vom Schwingungssensor 1 gelieferten Daten verbunden.

30 [0031] Die Vorrichtung zur Frequenzanalyse ist mit einer in der Figur nicht dargestellten Regeleinheit und diese wiederum mit den Piezoaktuatoren 3 verbunden.

35 [0032] Die Fehlersensoren 2 sind so angeordnet, dass sie die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene 14 bzw. den Wagenkasten übertragen werden, messen. Mögliche Anordnungsorte für einen oder mehrere Fehlersensoren 2 bestehen beispielsweise zum einen im Bereich des Achslagers 6 und zum anderen im Bereich der Sekundärfeder 11. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Fehlersensoren 2 am Drehgestellrahmen 7, zum einen oberhalb des Achslagers 6 und zum anderen oberhalb und/oder unterhalb der Sekundärfeder 11 angeordnet.

45 [0033] Die Piezoaktuatoren 3 sind an einzelnen, mehreren oder allen Körperschallübertragungspfaden der Primärebene 13 angebracht. Körperschallpfade stellen in erster Linie der Primärdämpfer 4, aber auch die Elemente der Radsatzführung 5, insbesondere der Radsatzlenker dar. Geeignet sind in der Primärebene 13 alle Elemente, die den Radsatz 9 in x- und/oder y-Richtung, das heißt in Richtung des Gleises und/oder quer dazu, führen, sowie der Primärdämpfer 4. Die Verwendung der Piezoaktuatoren 3 kann an einem der genannten Positionen oder deren Kombination erfolgen. Die Wirkrichtung der Piezoaktuatoren 3 ist dabei nicht auf die z-Richtung, das heißt senkrecht zur Gleisebene begrenzt. Ebenso ist es möglich, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 mindestens teilweise oder vollständig senkrecht zur Gleisebene und/oder parallel zur Gleisebene, parallel zur Fahrtrichtung und/oder parallel zur Gleisebene, senkrecht zur Fahrtrichtung wirken. Im Ausführungsbeispiel ist einer der Piezoaktuatoren 3 senkrecht zur Gleisebene und ein anderer der Piezoaktuatoren 3 parallel zur Gleisebene, parallel zur Fahrtrichtung angeordnet.

65 [0034] Es ist bekannt, dass Dämpfer im Bereich hoher Frequenzen die Kräfte ungehindert durchleiten und daher Körperschallbrücken darstellen. Ein weiteres wichtiges Argument, an dieser Stelle anzusetzen, ist die Tatsache, dass es

sich hier nicht um ein für den Lauf des Fahrzeuges im Gleis sicherheitsrelevantes Bauteil handelt.

[0035] Ein Aktuator, der auf dem piezoelektrischen Effekt beruht, ist aufgrund seiner Eigenschaften, große Kräfte zu erzeugen, dazu geeignet, dass er unmittelbar in den Kraftfluss dynamisch steifer Elemente positioniert werden kann, um die Übertragung des Körperschalls direkt zu unterbinden.

[0036] Das Grundprinzip dabei ist, den oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 so einzubauen, dass sie sich in Serie zu Koppellementen, beispielsweise dem Primärdämpfer 4 befinden, die im Arbeitsfrequenzbereich des Aktuators eine mechanisch steife Verbindung darstellen und parallel zu Koppellementen, beispielsweise der Primärfeder 10 die im Arbeitsfrequenzbereich mechanisch möglichst weich sind. Es ist zwar Aufgabe der Regelung, durch Positionierung eines oder mehrerer Sensoren und durch das Regelkonzept den Körperschall an den entscheidenden Punkten der Übertragung zu minimieren, die Wirksamkeit wird aber durch die Positionierung des oder der Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 wesentlich beeinflusst, um eine gute "Steuerbarkeit" der Regelstrecke zu erreichen.

[0037] Ferner ist es möglich, die Koppellemente, beispielsweise den Primärdämpfer 4 in Serie mit dem oder den Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 so auszuwählen oder auszulagern, dass eine statische Belastung, bzw. eine Belastung bei Frequenzen außerhalb des Arbeitsbereichs ausgeschlossen ist.

[0038] Die gezielte Auslegung dieser Koppellemente, z. B. Primärdämpfer 4 hinsichtlich dieser Tatsache verringert die Belastung des Aktuators, insbesondere Piezoaktuators 3 und erhöht seine Wirksamkeit. Der Primärdämpfer 4 gleicht statische und niederfrequente Bewegungen aus. Bei hydraulischen Primärdämpfern 4 kann der Aktuator, insbesondere Piezoaktuator 3 im Dämpferöl gelagert werden, wodurch eine gute Wärmeabfuhr und Erhöhung der Durchschlagsfestigkeit erreicht wird. Ein Teil des oder der Piezoaktuatoren 3 kann ausserdem als Kraftsensor verwendet werden. Dabei misst der Kraftsensor einen Weg an einer definierten Steifigkeit des Aktuators. Dieser Kraftsensor kann beispielsweise als Schwingungssensor 1 und/oder als Fehlersensor 2 Verwendung finden. Somit werden Bauteile eingespart und der Bauraum verringert.

[0039] Ferner ist es möglich, die Konstruktion des Fahrgestells, insbesondere des Drehgestells ebenfalls so auszugestalten, dass die Koppelpunkte des oder der Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 im Arbeitsfrequenzbereich steif sind, und außerhalb dieses Arbeitsbereiches weich.

[0040] Zudem kann auch der Körperschall, der durch die übrigen Elemente der Primärfederung übertragen wird, durch einen – auf diese bezogenen – parallel angeordneten Aktuator, insbesondere Piezoaktuator 3 teilweise reduziert werden. Für diesen Effekt ist ebenfalls von Vorteil, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 mit einer großen, dynamischen Steifigkeit in die Struktur bzw. das Federungssystem integriert sind.

[0041] Vorzugsweise werden in der gewählten Ebene die Koppellemente nach ihren mechanischen Eigenschaften ausgewählt, die wesentlich zur Übertragung des Körperschalls beitragen. In der Primärebene 13 sind dies Elemente, die die Fahrzeugkomponenten mit einer vergleichsweise hohen dynamischen Steifigkeit verbinden, insbesondere Achslager 6, Drehgestellrahmen 7, und/oder Wagenkasten 8. Bei dem Einsatz aktiver Elemente ist es von großer Bedeutung, diese so nah wie möglich am Ort der Körperschallentstehung einzusetzen, um deren Anzahl so gering wie möglich zu halten.

[0042] In einer weiteren Abwandlung zum Ausführungs-

beispiel können der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 und Dämpfer, insbesondere Primärdämpfer 4 zu einer Einheit integriert werden. Der Aktuator kann dabei so in das hydraulische System des Dämpfers eingebaut werden, dass der oben beschriebene Effekt der statischen Kraftentkopplung und dynamischen Ankopplung bewusst ausgenutzt wird, das heißt der Aktuator hat keine strukturmechanische Kopplung, sondern wirkt im gesamten Bauteil nur über die Dämpferflüssigkeiten.

[0043] Der Schwingungssensor 1 am Achslager 6 bzw. im Bereich unterhalb der Primärfeder 10, erfasst die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen. Eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des Schwingungssensors 1 ermittelt die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen. Dabei handelt es sich z. B. um Resonanzeffekte aufgrund von Eigenfrequenzen im Drehgestell, Frequenzen der Radharmonischen sowie der Schwellenfachfrequenz und deren Vielfache.

[0044] Die Fehlersensoren 2 messen die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene 14 bzw. den Wagenkasten übertragen werden.

[0045] Die Regeleinheit generiert unter Berücksichtigung der Signale der Fehlersensoren 2 die bei den durch die Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen die Ansteuersignale für die Piezoaktuatoren 3 und minimiert so die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene 14 bzw. den Wagenkasten übertragen werden.

[0046] Somit wird ein technischer Regelkreis, bestehend aus den Ausgangssignalen des Schwingungssensors 1 als Führungsgröße, den Fehlersensoren 2 als Messfühler, den Piezoaktuatoren 3 als Stellglieder sowie der Vorrichtung zur Frequenzanalyse und der Regeleinheit als Regler 12 gebildet, wie in Fig. 2 dargestellt. Die Regelstrecke des Regelkreises wird somit aus den Fehlersensoren 2 und den Piezoaktuatoren 3 gebildet.

[0047] In diesem Ausführungsbeispiel wird das Signal, welches von der Vorrichtung zur Frequenzanalyse geliefert wird, einer in der Regeleinheit enthaltenen Filteranordnung mit einer Vorstufe und einer Hauptstufe zugeführt und dort nach einem LMS-(least-mean-square)-Fehlerminimierungsverfahren in der Vorstufe mit einem Referenzsignal verknüpft, wobei das Ausgangssignal der Vorstufe als Eingangssignal der Hauptstufe dient. Dabei wird das Signal, welches von der Vorrichtung zur Frequenzanalyse geliefert wird, in eine komplexe Signalform transformiert und in der Vorstufe nach einem komplexen LMS-Fehlerminimierungsverfahren mit dem Referenzsignal verknüpft. Nähere Einzelheiten und weitere Ausgestaltungen der Verarbeitung des von der Vorrichtung zur Frequenzanalyse gelieferten Signals ergeben sich aus der DE 199 28 015 A1. Auch andere, bekannte Regelungsverfahren, insbesondere auf Basis eines LMS-Fehlerminimierungsverfahrens sind möglich.

[0048] Weiterhin ist es möglich, die Regeleinheit bzw. den Regler 12 derart auszuführen, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren 3 so angesteuert werden, dass diese bei Schwingungen in einem ersten Frequenzbereich starr ausgebildet sind und in einem zweiten, höheren Frequenzbereich aktiviert sind.

[0049] Vorzugsweise schließen die beiden Frequenzbereiche aneinander an, wobei die Grenzfrequenz zwischen den beiden Frequenzbereichen zwischen 50 Hz und 200 Hz, insbesondere im Bereich von 70 Hz liegt.

[0050] Der zweite Frequenzbereich liegt beispielsweise im Bereich zwischen 50 Hz und 500 Hz, vorzugsweise im Bereich zwischen 70 Hz und 300 Hz.

[0051] Statt der Piezoaktuatoren 3 sind auch andere Arten von Aktuatoren möglich.

[0052] Der Primärdämpfer 4 kann sowohl ein hydraulischer Dämpfer, als auch eine andere Art von Dämpfer sein.
 [0053] Schwingungssensor 1 und Fehlersensor 2 bzw ihre Einbauorte können identisch sein.

Patentansprüche

Verfahren zur Verminderung der Schallübertragung in Fahrzeugen bei dem
 mindestens ein Schwingungssensor (1) die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen erfasst,
 eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors (1) die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen ermittelt,
 mindestens ein Fehlersensor (2) die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, misst,
 eine Regeleinheit, die bei den durch die Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen und/oder im Bereich dieser Störfrequenzen die Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator (3) unter Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors (2) generiert und
 der mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator (3) die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, minimiert.
 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Schwingungssensor (1) im Bereich des oder am Achslager (6) und/oder mindestens ein Schwingungssensor (1) im Bereich unterhalb der Primärfeder (10) und/oder mindestens ein Schwingungssensor (1) im Bereich zwischen einem anderen Federelement und dem Achslager (6) die störenden durch die Räder erzeugten und/oder Übertragenen Schwingungen erfasst.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3), die an einzelnen, mehreren oder allen Körperschallübertragungspfaden der Primärebene (13) angebracht sind, die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, minimieren.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) mindestens teilweise oder vollständig senkrecht zur Gleisebene und/oder parallel zur Gleisebene, parallel zur Fahrtrichtung und/oder parallel zur Gleisebene, senkrecht zur Fahrtrichtung wirken.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Fehlersensor (2) die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, am Fahrverksrahmen, beispielsweise am Drehgestellrahmen (7), insbesondere im Bereich des Achslagers (6), vorzugsweise oberhalb des Achslagers (6) und/oder im Bereich der Sekundärfeder (11), vorzugsweise oberhalb und/oder unterhalb der Sekundärfeder (11) misst.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal, welches von der Vorrichtung zur Frequenzanalyse geliefert wird, ei-

ner in der Regeleinheit enthaltenen Filteranordnung mit einer Vorstufe und einer Hauptstufe zugeführt und dort nach einem LMS-(least-mean-square)-Fehlerminimierungsverfahren in der Vorstufe mit einem Referenzsignal verknüpft, wobei das Ausgangssignal der Vorstufe als Eingangssignal der Hauptstufe dient und das Signal, welches von der Vorrichtung zur Frequenzanalyse geliefert wird, in eine komplexe Signalform transformiert und in der Vorstufe nach einem komplexen LMS-Fehlerminimierungsverfahren mit dem Referenzsignal verknüpft wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) so angesteuert werden, dass diese bei Schwingungen in einem ersten Frequenzbereich starr ausgebildet sind und in einem zweiten, höheren Frequenzbereich aktiviert sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Frequenzbereiche aneinander anschließen, wobei die Grenzfrequenz zwischen den beiden Frequenzbereichen zwischen 50 Hz und 200 Hz, insbesondere im Bereich von 70 Hz liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Frequenzbereich im Bereich zwischen 50 Hz und 500 Hz, vorzugsweise im Bereich zwischen 70 Hz und 300 Hz liegt.

10. Fahrwerk für Fahrzeuge zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

11. Fahrwerk für Fahrzeuge, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, welches beinhaltet eine Primärebene (13) und eine Sekundärebene (14), mindestens einen Schwingungssensor (1), der die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen erfasst, eine Vorrichtung zur Frequenzanalyse der Signale des mindestens einen Schwingungssensors (1), die Frequenzen der stärksten harmonischen Anregungen ermittelt, mindestens einen Fehlersensor (2) der Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, misst, eine Regeleinheit, die bei den durch die Vorrichtung zur Frequenzanalyse des Schwingungssensorsignals ermittelten Störfrequenzen und/oder im Bereich dieser Störfrequenzen die Ansteuersignale für mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator (3) unter Berücksichtigung der Signale des mindestens einen Fehlersensors (2) generiert und mindestens einen Aktuator, insbesondere Piezoaktuator (3) der Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, minimiert.

12. Fahrwerk nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangssignale des oder der Schwingungssensoren (1) als Führungsgröße, der oder die Fehlersensoren (2) als Messfühler, der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) als Stellglieder sowie die Vorrichtung zur Frequenzanalyse und die Regeleinheit als Regler (12) einen oder mehrere, voneinander abhängige oder unabhängige technische Regelkreise bilden, wobei die Regelstrecke oder Regelstrecken des oder der Regelkreise aus dem oder den Fehlersensoren (2) und dem oder den Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) gebildet werden.

13. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärebene (13) die Radsatzführungselemente (5), insbesondere einen Rad-

satzlenker, den oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3), einen oder mehrere Dämpfer, insbesondere den Primärdämpfer (4) und ein oder mehrere Federelemente, insbesondere die Primärfeder (10) umfasst.

14. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Sekundärebene (14) eine Sekundärfeder (11) beinhaltet.

15. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Schwingungssensoren (1) so, insbesondere im Bereich und/oder am Achslager (6) und/oder im Bereich eines oder mehrerer der Federelemente, vorzugsweise im Bereich unterhalb der Primärfeder (10) angeordnet sind, dass sie die störenden durch die Räder erzeugten und/oder übertragenen Schwingungen erfassen.

16. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Fehlersensoren (2) so, insbesondere am Fahrwerksrahmen, beispielsweise am Drehgestellrahmen (7), insbesondere im Bereich des Achslagers (6), vorzugsweise oberhalb des Achslagers (6) und/oder im Bereich der Sekundärfeder (11), vorzugsweise oberhalb und/oder unterhalb der Sekundärfeder (11), angeordnet sind, dass sie die Restschwingungen bzw. Restkräfte, die auf die Sekundärebene (14) bzw. den Wagenkasten übertragen werden, messen.

17. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Schwingungssensor (1) und mindestens ein Fehlersensor (2) oder ihre Einbauorte identisch sind.

18. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) an einzelnen, mehreren oder allen Körperschallübertragungspfaden der Primärebene (13) angeordnet sind, insbesondere dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) in der Primärebene (13) an einem, mehreren oder allen Elementen, die den Radsatz (9) in x- und/oder y-Richtung, das heißt in Richtung des Gleises und/oder quer dazu, führen, vorzugsweise an Elementen der Radsatzführung (5) und/oder am Primärdämpfer (4), angeordnet sind.

19. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) so angeordnet sind, dass die Wirkrichtung der Piezoaktuatoren (3) mindestens teilweise oder vollständig senkrecht zur Gleisebene und/oder parallel zur Gleisebene, parallel zur Fahrtrichtung und/oder parallel zur Gleisebene, senkrecht zur Fahrtrichtung verläuft.

20. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) so angeordnet, dass sie sich in Serie zu Koppellementen, insbesondere zu einem, mehreren oder allen Dämpfern, vorzugsweise zum Primärdämpfer (4) befinden, die im Arbeitsfrequenzbereich des Aktuators eine mechanisch steife Verbindung darstellen und parallel zu Koppellementen, insbesondere zu einem, mehreren oder allen Federelementen, vorzugsweise zur Primärfeder (10) die im Arbeitsfrequenzbereich mechanisch möglichst weich sind.

21. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppellemente, insbesondere einer, mehrere oder alle Dämpfer, vorzugs-

weise der Primärdämpfer (4) in Serie mit dem oder den Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) so auszuwählen oder ausulegen, dass eine statische Belastung, bzw. eine Belastung bei Frequenzen außerhalb des Arbeitsbereichs ausgeschlossen ist.

22. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Konstruktion des Fahrgestells, insbesondere Drehgestells so ausgelegt ist, dass die Koppelpunkte des oder der Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) im Arbeitsfrequenzbereich steif sind, und außerhalb dieses Arbeitsbereiches weich.

23. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppellemente, die wesentlich zur Übertragung des Körperschalls beitragen nach ihren mechanischen Eigenschaften ausgewählt werden, insbesondere dass in der Primärebene (13) die Koppellemente die Fahrzeugkomponenten mit einer vergleichsweise hohen dynamischen Steifigkeit verbinden, beispielsweise Achslager (6), Drehgestellrahmen (7), und/oder Wagenkasten (8) oder zumindest Teile davon.

24. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) mit einer großen, dynamischen Steifigkeit in die Struktur bzw. das Federsystem integriert sind.

25. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) und Dämpfer, insbesondere Primärdämpfer (10) zu einer Einheit integriert sind.

26. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) im Dämpferöl des oder der hydraulischen Dämpfer, insbesondere Primärdämpfer (10) angeordnet ist.

27. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) so in das hydraulische System des oder der hydraulischen Dämpfer, insbesondere Primärdämpfer (10) eingebaut sind, dass eine statische Kraftentkopplung durch den Verzicht auf strukturelle mechanische Kopplung nur über die Dämpfungsflüssigkeit erreicht wird.

28. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil eines oder mehrerer der Aktuatoren, insbesondere Piezoaktuatoren (3) als Kraftsensor, insbesondere als Schwingungssensor (1) und/oder als Fehlersensor (2) verwendet wird.

29. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug ein Schienenfahrzeug, insbesondere für den Personenverkehr, vorzugsweise für den schnellen Fernverkehr ist.

30. Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrwerk ein Drehgestell ist.

31. Aktuator, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und insbesondere für ein Fahrwerk nach einem der Ansprüche 10 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktuator, insbesondere Piezoaktuator (3) so in ein hydraulisches System eines hydraulischen Dämpfers, insbesondere Primärdämpfers (10) eingebaut ist, dass eine statische Kraftentkopplung durch den Verzicht auf strukturelle mechanische Kopplung nur über die Dämpfungsflüssig-

keit erreicht wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

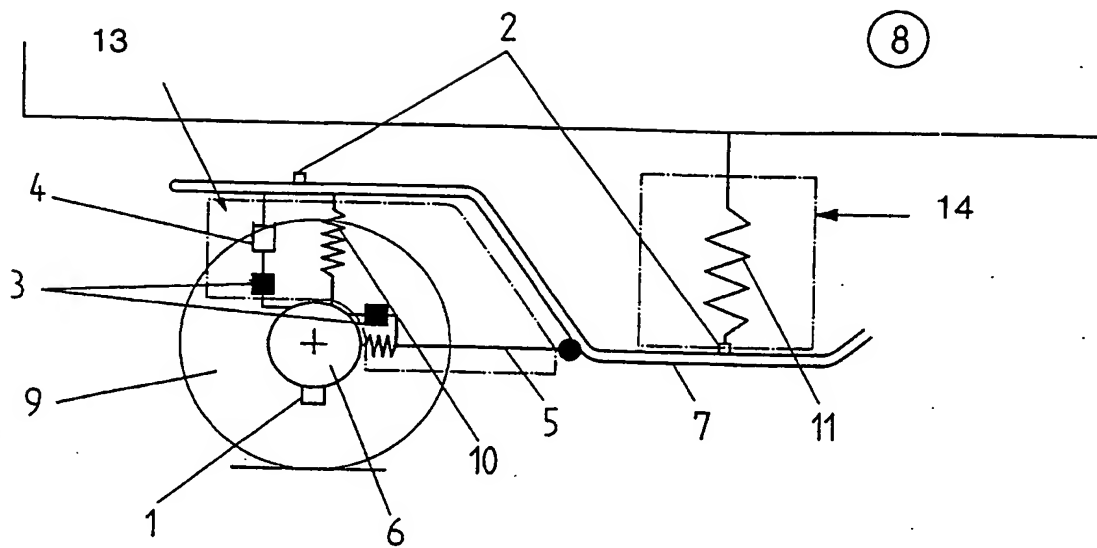


Fig. 1

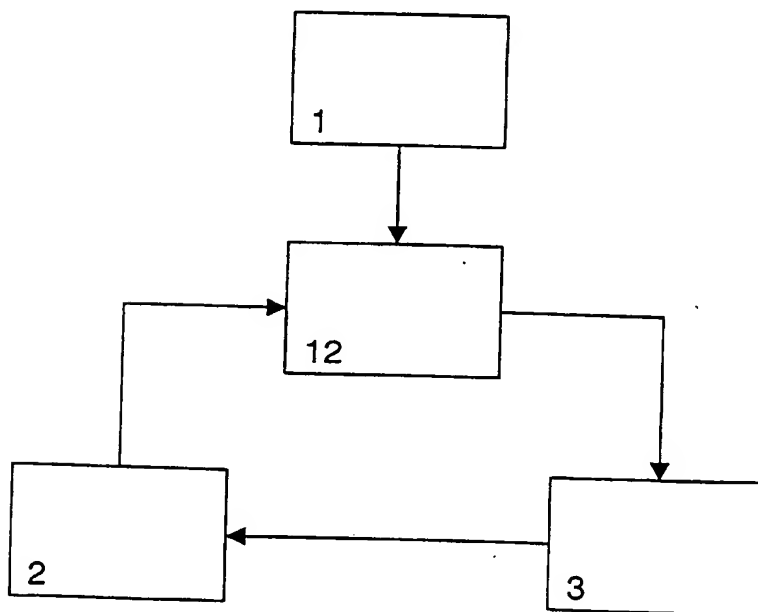


Fig. 2